

## JP10262359

Publication Title:

PERMANENT MAGNET DYNAMO-ELECTRIC MACHINE

Abstract:

Abstract of JP10262359

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the peak value of the induced voltage during a failure by setting the peak value of the generated induced voltage between terminals of a permanent magnet dynamo-electric machine to be the induced voltage value smaller than the peak value of the fundamental wave voltage. **SOLUTION:** A permanent magnet dynamo-electric machine device is provided with a DC power source 30, an inverter 31 to be connected thereto, and a permanent magnet dynamo-electric machine to be directly connected to the output end of the inverter 31, and of the system to control the magnetic field system by weakening the magnetic field of the permanent magnet dynamo-electric machine by a phase shift circuit 37. The shape of the induced voltage satisfies the inequality of  $V_p < V_{p1}$  where  $V_p$  is the peak voltage of the induced voltage generated between the terminals of the permanent magnet dynamo-electric machine, and  $V_{p1}$  is the peak value of its fundamental wave voltage. The peak value of the induced voltage during the failure is reduced to obtain the permanent magnet dynamo-electric machine which is compact in size, light in weight and high in torque, and a magnet dynamo-electric machine device provided with an inverter which can be handled with a switching element small in current capacity.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

特開平10-262359

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月29日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 2 K 29/00

H 0 2 K 29/00

Z

21/16

21/16

M

H 0 2 P 6/18

H 0 2 P 6/02

3 7 1 S

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平9-62708

(22) 出願日

平成9年(1997) 3月17日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 田島 文男

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 松延 豊

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 川又 昭一

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石回転電機装置

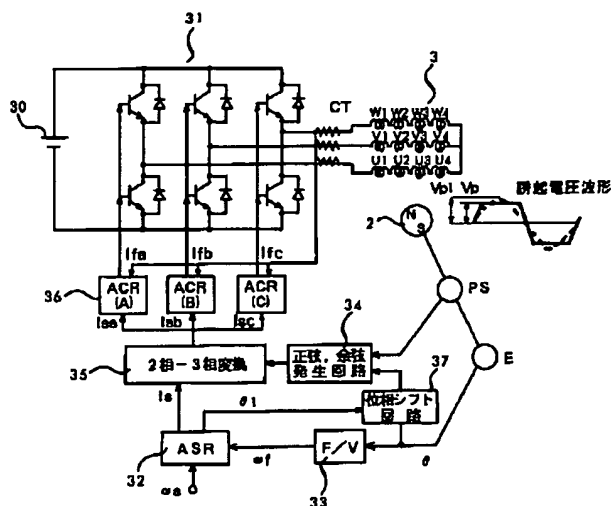
(57) 【要約】

【課題】小形軽量、高トルクの永久磁石回転電機、及び電流容量の小さなスイッチング素子ですむインバータとを備えた永久磁石回転電機装置及びこれを用いた電動車両を提供する。

【解決手段】かつ永久磁石回転電機を弱め界磁制御する方式の永久磁石回転電機装置において、永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧のピーク電圧を $V_p$ とし、その基本波電圧のピーク値を $V_{p1}$ としたとき、 $V_p < V_{p1}$ の誘起電圧形状となさしめる。

【効果】小形軽量、高トルクの永久磁石回転電機、及び電流容量の小さなスイッチング素子ですむインバータとを提供できる。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 直流電源と、それに接続されるインバータにより回転速度が制御される永久磁石回転電機と、該永久磁石回転電機を弱め界磁制御する手段とを備えてなる永久磁石回転電機装置において、前記永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧のピーク値を $V_p$ とし、その基本波電圧のピーク値を $V_{p1}$ としたとき、 $V_p < V_{p1}$ の誘起電圧値となるようにしたことを特徴とする永久磁石回転電機装置。

【請求項2】 直流電源と、それに接続されるインバータにより回転速度が制御される永久磁石回転電機と、該永久磁石回転電機を弱め界磁制御する手段とを備えてなる永久磁石回転電機装置において、永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧の中心の電圧値を $V_m$ とし、その発生誘起電圧のピーク値を $V_p$ としたとき、 $V_m < V_p$ の誘起電圧値となるようにしたことを特徴とする永久磁石回転電機装置。

【請求項3】 請求項2記載において、永久磁石回転電機のコイル幅を永久磁石回転子の磁極の幅にほぼ等しくしたことを特徴とする永久磁石回転電機装置。

【請求項4】 請求項1もしくは2記載において、永久磁石回転子の磁極中心の空隙長を磁極端の空隙長より大きくしたことを特徴とする永久磁石回転電機装置。

【請求項5】 請求項1もしくは2記載において、同じ相に属する固定子巻線を巻回した複数の固定子突極が電氣的にすべて同相の位置になるようにしたことを特徴とする永久磁石回転電機装置。

【請求項6】 請求項1、2記載において、低回転数での定トルク範囲と高速時の定出力運転範囲とを有し、かつ定トルク範囲の最高回転数を $N_1$ 、定出力範囲の最高回転数を $N_2$ としたとき、 $N_2/N_1$ が2以上であることを特徴とする永久磁石回転電機装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は永久磁石回転電機装置に係り、小形軽量、高トルクの永久磁石回転電機、及び電流容量の小さなスイッチング素子ですむインバータとを備えた永久磁石回転電機装置を提供するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 電動車両、特に電気自動車において使用される駆動電動機は電気自動車として積載されるバッテリーの量が限定され、かつそれで十分一充電走行距離を確保することが必要なために小型軽量、高効率であることが望まれる。一方、車両としての加速性能、最高速の確保等のために高トルクであること、弱め界磁に適した永久磁石回転電機であることが要求される。

【0003】 以上の条件に適した電動機として永久磁石回転電機が有効であり、特に永久磁石によるトルクと突極性を利用したリラクタンストルクを有効に発生する方

式の永久磁石回転電機が効果的であることが、特開平2-324232号で開示されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術によれば、永久磁石を永久磁石よりも高い透磁率を有する回転子鉄心の中に配置し、かつ周方向に永久磁石と回転子鉄心とで構成される補助磁極とを並置した構成を示している。一方、固定子は分布巻の固定子で永久磁石回転子の回転に同期して滑らかな回転磁界を作り出す構成である。

【0005】 このように永久磁石を永久磁石よりも高い透磁率を有する磁性材からなる回転子鉄心の中に配置するすなわち内部磁石回転子構成とすることによって弱め界磁が可能となり、高効率でかつ高速領域までの運転が可能となる。

【0006】 しかし、永久磁石を弱め界磁する回転電機において、高速運転時にインバータが故障すると弱め界磁制御が不能となり、永久磁石回転電機の線間には高電圧が発生し、バッテリーに大きなパワーを戻すことになる。これは、第1には、急ブレーキが生じ、走行車両姿勢の不安定を招く。第2にはバッテリー、平滑コンデンサ、インバータ等を損傷せしめる可能性がある点で問題がある。

【0007】 また、上記従来技術では一般にトルク発生に寄与する永久磁石の磁束の割合が少ないためにその発生する誘起電圧は比較的小さく押さえられるが、それでも最高速での発生誘起電圧は非常に大きなものとなる。

【0008】 さらに、分布巻固定子の永久磁石電動機等の場合はスロットリプルによる誘起電圧の跳ね上がりによって一層深刻になる場合もある。

【0009】 実際には以上を避けるためには第1にはインバータと回転電機の間にコンタクタを挿入し、故障時に永久磁石回転電機をインバータより切り離す方法、第2には誘起電圧を低く設定する方法があるが、第1の方法では、コンタクタのスペース、重量等がネックで、他の電動機例えば誘導電動機に対する優位点が損なわれる。また、第2の点ではリラクタンストルク成分に期待する比率が大きく、電動機の体格を大きくすること、及びトルクを発生するのに必要な電流が増加し、インバータの電流容量をいたずらに増加させる結果を生ぜしめる欠点がある。

【0010】 本発明は故障時の誘起電圧のピーク値を低減し、これによって小形軽量、高トルクの永久磁石回転電機、及び電流容量の小さなスイッチング素子ですむインバータとを備えた永久磁石回転電機装置を提供することを目的とするものである。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】 本発明は、直流電源と、それに接続されるインバータにより回転速度が制御される永久磁石回転電機と、該永久磁石回転電機を弱め界磁

制御する手段とを備えてなる永久磁石回転電機装置において、前記永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧のピーク値を $V_p$ とし、その基本波電圧のピーク値を $V_{p1}$ としたとき、 $V_p < V_{p1}$ の誘起電圧値となさしめることによって達成される。

【0012】本発明の好ましくは、永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧の中心の電圧値を $V_m$ とし、その発生誘起電圧のピーク値を $V_p$ としたとき、 $V_m < V_p$ の誘起電圧値となさしめたことによって達成される。

【0013】本発明の好ましくは、永久磁石回転電機の10 コイル幅を永久磁石回転子の磁極の幅にほぼ等しくしたことによって達成される。

【0014】本発明の好ましくは、永久磁石回転子の磁極中心の空隙長を磁極端の空隙長より大ならしめることによって達成される。

【0015】本発明の好ましくは、同じ相に属する固定子巻線を巻回した複数の固定子突極が電氣的にすべて同相の位置に配置することによって達成される。

【0016】本発明の好ましくは、低回転数での定トルク範囲と高速時の定出力運転範囲とを有し、かつ定トルク範囲の最高回転数を $N_1$ 、定出力範囲の最高回転数を $N_2$ としたとき、 $N_2/N_1$ が2以上であることによって達成される。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例について説明する。

【0018】図1は本発明にかかわる永久磁石回転電機装置の一実施例を、図2に本発明の永久磁石回転電機の構造を、図3に本発明の永久磁石回転電機の断面構造を示す。

【0019】図2、図3において永久磁石回転電機は固定子1と回転子2とからなり、該固定子1は積層された鉄心からなりスロット部11に絶縁材を介して固定子巻線3を巻装している。ここで、固定子構造は一般に広く使用されている分布巻固定子構造であって、例えば、固定子鉄心は歯部12とで磁気回路を形成するヨーク部13とからなり、固定子巻線3は固定子鉄心の空隙面に近い部分のスリット部14からスロット部11に収納される。

【0020】回転子2は高透磁率磁性材料である、例えば珪素鋼板よりなる積層鉄心と、その積層鉄心に設けられた永久磁石挿入孔21に挿入された永久磁石22とシャフト4とからなる。この高透磁率磁性材料からなる積層鉄心は隣り合う永久磁石22間に設けられた補助磁極部23と永久磁石22の外周に設けられた磁極片部24とヨーク部13とを備え、このヨーク部には前記した永久磁石挿入孔21とシャフト4を通す孔が打ち抜かれる。この永久磁石回転子2の回転方向は反時計方向に回転し、電動機として運転するものとする。ここで、使用する永久磁石22は直方体にしてあるため、弧状の磁石 50

に比較して寸法精度が確保しやすく、回転子のバランス作業なしに高速回転に供することができる。また永久磁石22には高性能磁石であるネオジウム磁石等が使用されるものとする。

【0021】図3に本発明の永久磁石回転電機の断面構造図を示す。回転電機の固定子1は一对のハウジング10、101の内周面に固定されている。ここで、固定子鉄心のスロット部11は24個で永久磁石回転子の極数8に対して毎極毎相あたりのスロット数が1の例で示してある。これが2、3と増加しても同様である。

【0022】シャフト4はベアリング10a、10bを介してハウジング10、101に回転自在に保持されている。ここで、PSは回転子2の永久磁石22の位置を検出する磁極位置検出器であり、Eは回転子2の位置を検出するエンコーダである。回転電機はこの磁極位置検出器PSの信号と、エンコーダEの出力信号により、制御装置を介して運転制御される構成である。Eは速度制御用の位置センサである。

【0023】図1に本発明の永久磁石回転電機装置の制御回路を示す。

【0024】図において、直流電源30よりインバータ31を介して多相の固定子巻線3に電力を供給する。

【0025】速度制御回路(ASR)32では、速度指令 $\omega_s$ と、エンコーダEよりの位置情報 $\theta$ からF/V変換器33を介して得られる実際の速度 $\omega_f$ とから速度差 $\omega_e$ を算出し、これにPI制御(P:比例項、I:積分項)等によってトルク指令すなわち電流指令 $I_s$ と回転子2の回転角 $\theta_1$ を出力する。

【0026】一方、正弦波、余弦波発生器34では、回転子2の永久磁石磁極の位置を検出する位置検出器PSとエンコーダEよりのパルスすなわち回転子の位置情報 $\theta$ から、固定子巻線3の各巻線(ここでは3相)の誘起電圧と同相の正弦波出力、あるいは必要に応じて位相シフトした正弦波出力を発生する。

【0027】2相-3相変換回路35においては、電流指令 $I_s$ と正弦波、余弦波発生器34の出力に応じて各相に電流指令 $I_{sa}$ 、 $I_{sb}$ 、 $I_{sc}$ を出力する。各相はそれぞれ個別に電流制御系(ACR)36を持ち、電流指令 $I_{sa}$ 、 $I_{sb}$ 、 $I_{sc}$ と電流検出器CTからの電流検出信号 $I_{fa}$ 、 $I_{fb}$ 、 $I_{fc}$ に応じた信号をインバータ31に送って各相電流を制御する。この場合、各相合成の電流は界磁磁束に直角、あるいは位相シフトした位置(各相電流の合成の起磁力を永久磁石より90度以上進ませる制御を弱め界磁制御という)電流を常に形成し、これによって無整流子で、かつ直流機と同等の特性を得ることができる。

【0028】以上の構成で、制御装置によって固定子巻線3に流す電流のつくる電機子起磁力の合成ベクトルを補助磁極部23の中心位置より回転方向側に向くように制御することによって、回転電機は、永久磁石22によ

るトルクの他に補助磁極部23によるリラクタンストルクを発生することができ、高トルクの電動機として運転することができる。

【0029】以上の構成において、本発明では図1に示すように直流電源30と、それに接続されたインバータ31と、インバータ31の出力端に直接接続された永久磁石回転電機とを備え、かつ永久磁石回転電機を位相シフト回路37によって弱め界磁制御する方式の永久磁石回転電機装置において、永久磁石回転電機の端子間の発生誘起電圧のピーク電圧を $V_p$ とし、その基本波電圧のピーク値を $V_{p1}$ としたとき、 $V_p < V_{p1}$ の誘起電圧\*

$$T = (E_0 \cdot I_q + (X_q - X_d) \cdot I_d \cdot I_q) / \omega \quad \dots (1)$$

ここで、 $E_0$ ：誘起電圧  $\omega$ ：回転角速度

$I_d$ ,  $I_q$ ：d, q軸の電流

$X_q$ ,  $X_d$ ：d, q軸のリアクタンス

(1)式で第1項は永久磁石22によるトルク成分で、第2項は補助磁極部23によるリラクタンストルク成分である。

【0032】トルクを大きくするためにはリラクタンスによるトルクと永久磁石によるトルクを最大に利用する必要がある。従って永久磁石の誘起電圧を増加させた法がインバータ31のスイッチング素子の電流容量を小さくすることができる。

【0033】一方、高速回転数の領域では定出力のため、必要トルクは小さくなり、リラクタンスによるトルクも永久磁石によるトルクも同一の電流に対する最大のトルクを出せる位相とはしない。ここでは、永久磁石22の磁束を弱めて永久磁石による誘起電圧を低める、いわゆる弱め界磁制御で運転する。これによって永久磁石による誘起電圧を下げ、従って永久磁石回転電機に加える端子電圧以下にして直流電源より電力が供給されるようになって高速まで回転可能とすることができるのである。

【0034】この条件で低速のトルクを優先させて誘起電圧を上昇させると、高速で弱め界磁を大きくする必要がある。

【0035】ここで、制御装置が正常動作中であれば永久磁石の誘起電圧は弱め界磁制御によってインバータ31の素子耐圧、及びインバータの入力端子間に設けられたコンデンサ等の耐圧の範囲を超えることはないが、高速運転まで正常に運行し、その後、インバータが故障した場合には弱め界磁が不能となり、大きな誘起電圧が直接インバータ31及びコンデンサにかかり、破損のおそれと、大きな電力を直流電源に戻すことにより大きなブレーキ力を引き起こすおそれもある。

【0036】従って、インバータの素子容量を小さくするためには大きなトルクの発生と誘起電圧の最大値を低減せしめるという合い矛盾する課題を達成する必要がある。一方、永久磁石回転電機の固定子鉄心には前述のように固定子巻線3をスロット部11に収納するスリット

\*形状となさしめたことを特徴とするものである。

【0030】電気自動車等の電動車両に使用する駆動電動機に求められるトルク特性は、低速（ある回転数までの範囲）では大トルクの発生が可能であり、かつそれを越える高速領域ではインバータ31の容量がなるべく大きくならない範囲で定出力の運転が可能であることが望まれている。このため、低速ではインバータ31のスイッチング素子の許容電流の範囲内での定トルク運転範囲と高速での定出力範囲での運転とを一般に行っている。

【0031】永久磁石モータのトルク $T$ は一般に

14が一般に設けられている。このスリットの影響は、図2で示したようなリラクタンストルクを積極的に利用する補助磁極部23を有する型の永久磁石回転電機では永久磁石の角度 $\tau_1$ の選定によっては図4(a)のような波形になる。つまり中心部の誘起電圧波形 $V_m = V_p$ が大きくなってしまふ。

【0037】このような波形で高速領域でのインバータ31の故障を考えるとインバータ31の素子及びコンデンサの電圧耐量は誘起電圧の最大値 $V_p$ で決まってしまうため、結果としてトルクに影響する誘起電圧の実行値は小さくせざるを得ず、従って、同一トルクを得るためにはインバータ素子の電流容量を増加させなければならない欠点がある。

【0038】本発明では、図2で示した永久磁石 $\tau_1$ の角度をパラメータに検証した結果、角度によって誘起電圧波形に図4(a), (b), (c)のように変化することを見いだした。

【0039】図4は8極、スロット48個での図示例で、実線は線間誘起電圧、波線はその基本波分を示すものである。

【0040】図4(a)は永久磁石 $\tau_1$ の角度と極節 $\tau_p$ の比を0.63にした場合で、この場合、回転電機の誘起電圧の最大値 $V_p$ は誘起電圧の中心部の値 $V_m$ に等しく、その値は誘起電圧の基本波分 $V_{p1}$ よりも大きくなる。

【0041】図4(b)は永久磁石 $\tau_1$ の角度と極節 $\tau_p$ の比を0.58にした場合で、この場合、回転電機の誘起電圧の最大値 $V_p$ は誘起電圧の中心部の値 $V_m$ より高く、誘起電圧の基本波分 $V_{p1}$ よりも小さくなる。

【0042】図4(c)は永久磁石 $\tau_1$ の角度と極節 $\tau_p$ の比を0.53にした場合で、この場合、回転電機の誘起電圧の最大値 $V_p$ は誘起電圧の中心部の値 $V_m$ より大きく、誘起電圧の基本波分 $V_{p1}$ よりも小さくなる。

【0043】図4(d)には永久磁石 $\tau_1$ の角度と極節 $\tau_p$ の比に対する $V_p/V_{p1}$ ,  $V_m/V_p$ を示す。

【0044】ここで、誘起電圧の基本波分 $V_{p1}$ はトルクに直接関係するもので大きい方が望ましい。一方、誘起電圧の最大値 $V_p$ は高速時まで運転させるにはできる

限り小さいことが望ましい。従って、 $V_p/V_{p1}$ の比を小さくすることが求められる。図4(d)では永久磁石 $\tau 1$ の角度と極節 $\tau p$ の比が0.6以下、つまり $V_p/V_{p1}$ が1.0以下( $V_p < V_{p1}$ )がよい。一方、誘起電圧の中心部の値 $V_m$ は直接は意味を持たないが図4(d)で示すように $V_m/V_p < 1$ となる範囲と上記の範囲はよく対応している。つまり $V_p < V_{p1}$ は $V_m < V_p$ で顕彰できる。

【0045】以上、図4(b), (c)のようにすることによってインバータ素子の電流容量を小さくすることができる。

【0046】以上の効果は、低回転数での定トルク範囲と高速時の定出力運転範囲とを有し、かつ定トルク範囲の最高回転数を $N1$ 、定出力範囲の最高回転数を $N2$ としたとき、 $N2/N1$ の値が大きいほど効果がある。つまり、高速域で永久磁石の磁束を弱める必要が大きくなるためである。ここではこの値が2以上で上記の効果を発揮できる。

【0047】図5に本発明の永久磁石回転電機装置の回転電機の他の実施例を示す。

【0048】図2と同一記号は同一構成部品を示す。ここでも、同相に属する固定子巻線(例えば $U1$ ,  $U2$ ,  $U3$ ,  $U4$ )が電氣的にすべて同相の位置に配置された構成で示す。同じ位相とすることによって誘起電圧の高調波がすべての固定子巻線で発生するため減衰せず、台形状の誘起電圧を発生しやすくなる。

【0049】ここでは永久磁石回転子の中心の外周部の磁極片部24の空隙部を大きくする構成とした。以上の形状によって図5(b)に示すように永久磁石回転電機の誘起電圧は階段状となって $V_p < V_{p1}$ とすることができ、図4での説明と同様の効果を得ることができる。

【0050】図6に本発明の永久磁石回転電機装置の回転電機の他の実施例を示す。図2と同一記号は同一構成部品を示す。ここでは永久磁石回転電機の固定子を集中巻としたことを特徴とする。ここでも、固定子巻線を集中的に巻回し、かつ同相に属する固定子巻線が電氣的にすべて同じ位相の位置に配置された構成である。

【0051】以上の構成とすることによって回転子はほぼ全周にわたって永久磁石を配置した構成であっても図

5(b)に示すように永久磁石回転電機の誘起電圧は階段状とすることができる。これによって $V_p < V_{p1}$ とすることができ、図4での説明と同様の効果を得ることができる。

【0052】なお、以上の永久磁石回転電機を電動車両、特に電気自動車に適用すれば、小型軽量高効率の永久磁石回転電機駆動装置を搭載でき、一充電走行距離の長い電気自動車を提供することができる。また、安全性の高い電動車両を提供できる。また、以上は制御装置として速度制御機能(ASR)を有する永久磁石回転電機装置について述べたが、トルク制御機能を有する永久磁石回転電機装置についても適用可能である。また、回転電機としては軸方向の空隙を有する回転電機及び発電機、電動機及び内転型、外転型、リニア型を問わず適用可能である。

【0053】

【発明の効果】以上の構成によれば、小形軽量、高トルクの永久磁石回転電機、及び電流容量の小さなスイッチング素子ですむインバータとを備えた永久磁石回転電機装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の永久磁石回転電機装置を示す。

【図2】本発明の永久磁石回転電機を示す。

【図3】本発明の永久磁石回転電機の断面を示す。

【図4】本発明の誘起電圧波形の動作説明図を示す。

【図5】本発明の永久磁石回転電機の他の実施例を示す。

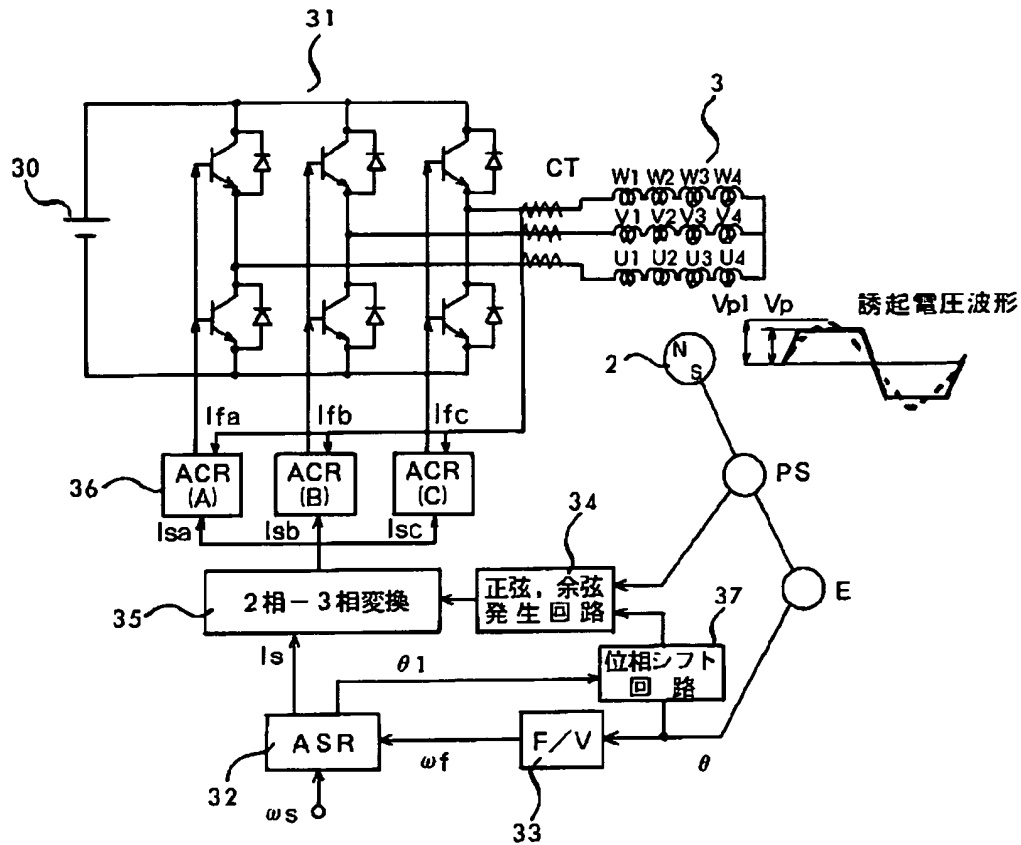
【図6】本発明の永久磁石回転電機の他の実施例を示す。

【符号の説明】

1…固定子、2…回転子、3…固定子巻線、11…スロット部、12…固定子歯部(突極部)、13…固定子ヨーク部、21…永久磁石挿入孔、22…永久磁石、23…補助磁極部、24…磁極片部、31…インバータ、32…速度制御回路(ASR)、33… $F/V$ 変換器、34…正弦波、余弦波発生器、36…電流制御系(ACR)、35…2相-3相変換回路、37…位相シフト回路。

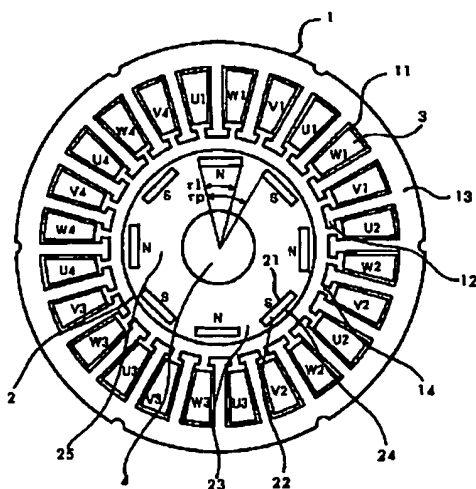
【図1】

図 1



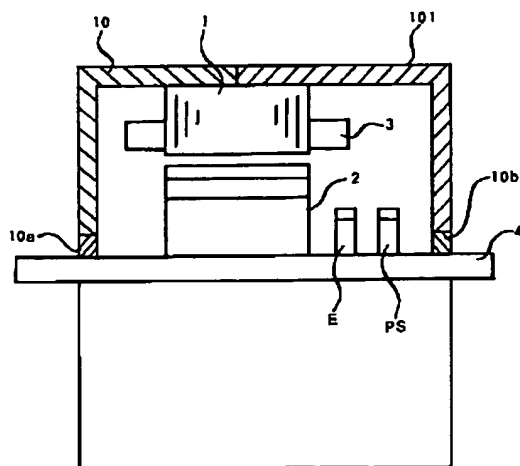
【図2】

図 2



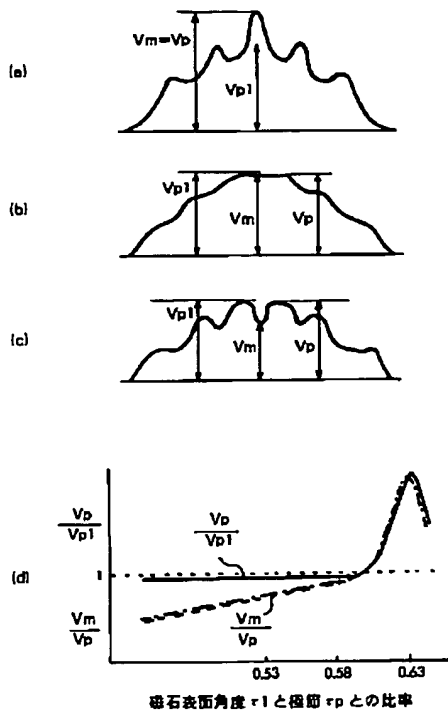
【図3】

図 3



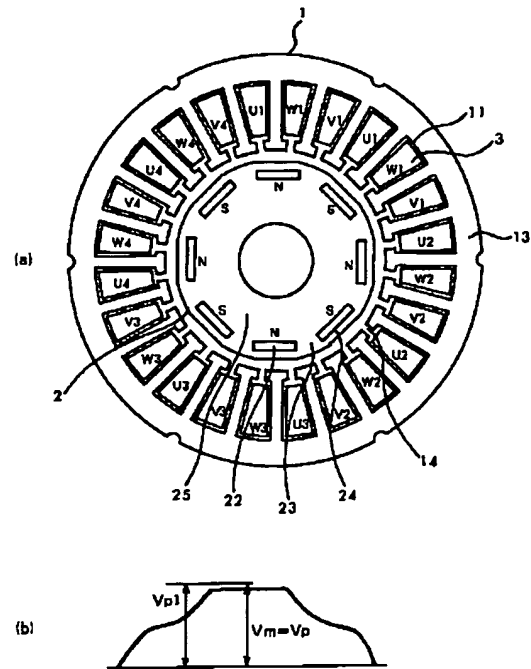
【図4】

図 4



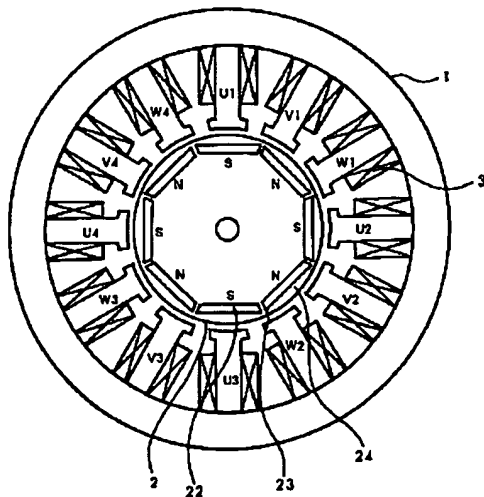
【図5】

図 5



【図6】

図 6



フロントページの続き

(72)発明者 渋谷 末太郎  
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器事業部内

(72)発明者 小泉 修  
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器事業部内